



پیامد زمان تماس، اندازه کروم و ماده آلی خاک بر چگونگی رشد کرم‌های خاکی گونه *Eisenia fetida*

* زهرا جمشیدی اردکانی^۱، احمد گلچین^۲، عبدالحسین پیری زنگنه^۳ و عباسعلی زمانی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، آستاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،

^۲ دانشیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان، ^۳ استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۶

چکیده

کرم‌های خاکی بخشی از چرخه تجزیه و زنجیره غذایی در خاک هستند و چنانچه فلزهای سنگین وارد بدن آن‌ها شوند، این فلزها از راه زنجیره غذایی به بدن جانداران دیگر وارد شده و پیامدهای ناخواسته بر سلامتی آن‌ها خواهند داشت. با توجه به پیامدهای سودمندی که کرم‌های خاکی در حاصلخیزی خاک دارند، انجام پژوهش‌هایی درباره پیامد آلودگی‌های زیست‌محیطی بر فراوانی، زیست‌توده و کارکرد کرم‌های خاکی نیاز می‌باشد. برای بررسی پیامد ماده آلی خاک بر چگونگی رشد کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح گوناگون آلودگی خاک به کروم صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک و سطوح ماده آلی معادل صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی انتخاب شد. سطح ماده آلی خاک با افزایش گونه کود دامی به نمونه‌های خاک تنظیم شد. کرم‌ها در چهار بازه زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز در خاک آلوده قرار گرفتند و زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون آن‌ها بررسی شد. در پایان آزمایش نیز انباشتگی کروم در بدن کرم‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح غلظت آلودگی خاک به کروم، زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون کرم‌ها به گونه معنی‌داری کاهش و انباشتگی کروم در بدن آن‌ها افزایش یافت. اثر گذشت زمان و سطوح گوناگون ماده آلی نیز بر این ویژگی‌ها معنی‌دار بودند و به ترتیب آن‌ها را کاهش و افزایش دادند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلزهای سنگین، شناسه زیستی، آلودگی محیط زیست

* مسئول مکاتبه: za_jamshidi@ymail.com

مقدمه

فلزهای سنگین از جمله آلاینده‌های پایدار و بادوام محیط زیست هستند که از راه فعالیت‌های انسانی به محیط زیست وارد شده‌اند (پستیرکاکووا، ۲۰۰۴؛ سلیک و دمیربس، ۲۰۰۵) و چون تجزیه نمی‌شوند، در خاک‌ها و ته‌نشست‌ها و در پی آن در فراورده‌های کشاورزی انباشته شده و غلظت‌های بالای آن‌ها می‌تواند مایه مسمومیت انسان از راه خوراکی‌ها شود (مدبری و مور، ۲۰۰۴). کروم یکی از فلزهای سنگینی می‌باشد که بودن آن در محیط زیست زیان‌بار است و پیامدهای بد و فراوانی بر جانداران دارد. کروم، در شرایط متفاوت زیست‌محیطی، با ظرفیت‌های گوناگون دیده شده است. این عنصر در محیط‌های طبیعی (آب، خاک و هوا) بیش‌تر به دو گونه شش‌ظرفیتی و سه‌ظرفیتی وجود دارد (بارسلوکس، ۱۹۹۹) هر گونه می‌تواند پیامدهای شیمیایی، بیولوژیکی و زیست‌محیطی گوناگونی داشته باشد. کروم سه‌ظرفیتی یک عنصر غذایی لازم برای برخی از جانداران بوده و برای تغذیه ضروری است. ولی کروم شش‌ظرفیتی سرطان‌زا بوده و مایه التهاب‌های پوستی و کلیوی می‌شود (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۲۰۰۱). کروم در صنایع، معدن، حفاظت چوب، رنگرزی، نساجی، دباغی، فلزکاری و چرم‌سازی کاربرد دارد. اندازه طبیعی کروم در خاک‌ها از ۱۰-۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، با توجه به نوع مواد مادری، متغیر است (شانکر و همکاران، ۲۰۰۴) ولی فعالیت‌های انسان و آلودگی‌های زیست‌محیطی اندازه آن را در خاک افزایش داده و مایه پیامد بد بر جانداران و کارکرد زیستی خاک شده است.

کرم‌های خاکی مهم‌ترین گروه جانداران کارا در شکستن مانده‌های گیاهی، بهبود ساختار خاک، چرخش مواد غذایی و افزایش حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌آیند. این جانداران در بسیاری از خاک‌ها زندگی می‌کنند و نزدیک ۷۰-۵۰ درصد زیست‌توده خاک را می‌سازند. کرم‌های خاکی در تماس پیوسته با خاک هستند و کارکرد ویژه‌ای در چرخه عناصر غذایی، بهبود تهویه و زهکشی خاک‌ها دارند (آلن، ۲۰۰۲). کرم‌های خاکی از راه جذب عناصر سنگین در بدن خود یا کمک به جذب آن در گیاه، مایه کاهش و یا رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردند (سالت و همکاران، ۱۹۹۸). مواد آلی خاک با نگهداری رطوبت خاک و فراهم کردن دما و اکسیژن مورد نیاز جانداران خاکزی شرایط زیست مناسبی را برای این جانداران ایجاد می‌کنند. فراوانی بی‌مهرگان بزرگ خاک، مانند کرم‌های خاکی، می‌تواند همانند یک شناسه در ارزیابی کیفیت خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی آزمایش شود (بویر و همکاران، ۱۹۹۱). کرم‌های خاکی با گیرنده‌های شیمیایی بخش دهانی^۱ خود و گره‌های حسی روی

1- Prostomium

بدن، پاسخ‌دهی بالایی در برابر مواد شیمیایی خاک‌ها دارند (رینک و همکاران، ۲۰۰۲). این جانداران، هنگام تماس با خاک آلوده، اندازه فراوانی از فلزهای سنگین خاک را در بافت‌های خود انباشته می‌کنند و از این‌رو کرم‌های خاکی همانند شاخص زیستی برای اندازه‌گیری آلودگی‌های خاک به‌کار می‌روند (آلن، ۲۰۰۲). بر پایه پژوهش‌های ووتر و رینک (۱۹۸۸) کرم خاکی گونه *Eisenia fetida* گونه‌ای مرجع در آزمایش‌های سم‌شناسی خاک است. چون این گونه زایش سریع دارد و چرخه زندگی آن به خوبی شناخته شده است.

بررسی پیامد آلاینده‌ها از راه اندازه‌گیری اندازه آن‌ها در خاک، به‌دلیل برهم‌کنش میان خاک و مواد آلاینده، افزون بر زمان‌بر بودن، نشان‌دهنده واکنش جانداران به آلودگی نمی‌باشد. با نگاه به واکنش تند کرم‌های خاکی به دگرگونی‌های زیست‌محیطی این پژوهش به چهار موضوع زیر می‌پردازد.

- بررسی پیامد سطوح گوناگون کروم بر چرخه زندگی کرم‌های خاکی گونه *E. fetida*
- بررسی پیامد سطوح گوناگون ماده آلی بر ویژگی‌های رشد کرم‌های خاکی گونه *E. fetida* در خاک‌های آلوده به کروم
- بررسی پیامد زمان تماس با کروم بر چرخه زندگی کرم‌های خاکی گونه *E. fetida*
- بررسی انباشتگی زیستی کروم در بدن کرم‌های خاکی گونه *E. fetida* در خاک‌های آلوده به سطوح گوناگون کروم

مواد و روش‌ها

برای بررسی پیامد زمان تماس، سطوح گوناگون ماده آلی و کروم بر چرخه زندگی کرم‌های خاکی گونه *E. fetida* آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای بررسی شده عبارت از سطوح گوناگون کروم، سطوح گوناگون ماده آلی، مدت زمان تماس کرم خاکی با سطوح گوناگون کروم و ماده آلی خاک بودند و پیامد آن‌ها بر زنده‌مانی، رشد و زایش کرم‌های خاکی بررسی شد. غلظت‌های کروم در نمونه‌های خاک عبارت از صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بود و برای هر سطح آلودگی خاک، سه سطح ماده آلی شامل صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی در نظر گرفته شد. ماده آلی به‌کار رفته در این آزمایش، کود گاوی شسته شده^۱ و کاملاً خشک بود. کرم‌ها در چهار بازه زمانی گوناگون در برابر آلودگی با کروم گذاشته شدند و

۱- کود گاوی دارای اوره فراوانی است و اوره برای کرم‌های خاکی زهری است؛ بنابراین شستن کود قبل از استفاده لازم است.

نمونه برداری برای اندازه گیری ویژگی های رشد کرم های خاکی در زمان صفر (زمان آغاز آزمایش)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز پس از افزودن کرم ها به نمونه های خاک آلوده انجام شد. برای اجرای آزمایش در آغاز یک نمونه مرکب خاک از لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی متری) یک زمین کشاورزی برداشت و برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آن، آزمون گردید. سپس نمونه خاک به ۷۲ نمونه فرعی ۶ کیلوگرمی جدا شد و نمونه ها با سطوح گوناگون کروم آلوده گردیدند. سپس برای ایجاد تعادل میان کروم و ذرات خاک، به مدت ۱ ماه در شرایط گلخانه نگهداری شدند. برای آماده کردن خاک آلوده به کروم از نمک پتاسیم کرومات بهره گیری شد. برای دقت در تعیین وزن نخستین کرم ها، به مدت ۸ ساعت در پتری دیش های دارای کاغذ صافی مرطوب گذاشته شدند تا اندوخته روده آن ها رها شود. پس از گذشت ۸ ساعت، شمار فراوانی کرم با اندازه تقریباً یکسان گزینش شد و روی کاغذ صافی خشک گذاشته شدند تا آب اضافی بدن آن ها گرفته شود. سپس برای هر جعبه ۲۰ عدد کرم جدا و وزن گردید و سپس به بستر آن ها، که همان خاک های آلوده به کروم بودند، رسانده شدند. پس از گذشت ۱۵ روز از آغاز آزمایش، کرم های هر جعبه به وسیله الک از خاک جدا شده و با ترازوی دقیق آزمایشگاهی وزن شدند. خاک جعبه ها برای دیدن کوکون به دقت بررسی و هر گونه نشانه مشخصه دیگر کرم ها مانند ساخت اندام های جنسی نیز بررسی و یادداشت شد. اندازه گیری مرگ و میر کرم ها، وزن و شمارش آن ها و همچنین بررسی و شمارش کوکون های پدید آمده تا ۶۰ روز پس از آغاز آزمایش ادامه یافت (جنابی حق پرست و همکاران، ۲۰۱۳). در پایان آزمایش پس از اندازه گیری وزن نهایی کرم ها، کرم های هر جعبه در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا خشک گردند. پس از خشک شدن کرم ها، برای اندازه گیری یون های فلزی در بدن آن ها، از روش هضم با اسید بهره گیری شد (کیتز و جنیس، ۱۹۸۹) و اندازه کروم آن ها با دستگاه ICP-OES خوانده شد. پس از اندازه گیری کروم انباشته شده در بدن کرم ها فاکتور انباشتگی زیستی (نسبت غلظت کروم در بدن کرم ها به غلظت کروم خاک) سنجیده شد. تجزیه آماری داده ها با بهره گیری از نرم افزار SAS (9.1) و مقایسه میانگین ها با آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه کود گاوی و خاک به کار رفته، به ترتیب، در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است.

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گاوی به کار رفته.

pH	نیترژن	فسفر	پتاسیم	EC	مس	منگنز	آهن	روی	کروم
	درصد	دسی‌زیمنس بر متر	میلی‌گرم بر کیلوگرم						
۸	۱/۶	۰/۵	۰/۶۵	۳/۶	۳۰	۸۰	۶۱۴	۵۴	۲/۸۳

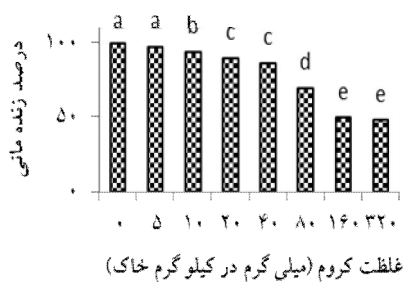
جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش شده.

عمق خاک (سانتی‌متر)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	بافت خاک	ازت (درصد)	فسفر	پتاسیم	روی*	آهن	منگنز	کادمیم	کروم	ماده آلی
			لوم شنی									درصد
۰-۲۰	۲/۳	۷/۲۷		۰/۱۹	۲۱	۲۲	۲/۵	۰/۴	۰/۴	۱/۲	۰/۰۵	۱/۹

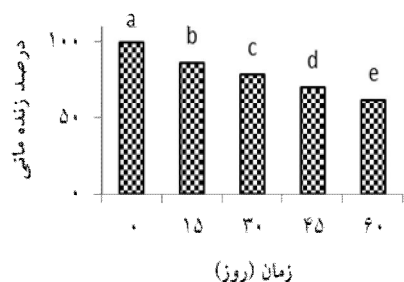
* عصاره‌گیر استفاده شده برای فسفر بی‌کربنات سدیم (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴) و برای روی، آهن، منگنز و کادمیم DTPA بود (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) و برای استخراج کروم از روش هضم با اسید کلریدریک و اسید نیتریک استفاده شد (پنا آیکارت و همکاران، ۲۰۱۱).

زنده‌مانی کرم‌های خاکی: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی نشان داد که پیامدهای اصلی سطوح گوناگون کروم، ماده آلی و زمان نمونه‌برداری و همچنین برهم‌کنش‌های آن‌ها بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در سطوح گوناگون کروم خاک نشان داد که بیش‌ترین درصد زنده‌مانی به اندازه ۹۹/۷ و ۹۷/۶ به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار با سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بود و کم‌ترین درصد زنده‌مانی به تیمارهای با سطح آلودگی ۱۶۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک تعلق داشت که به ترتیب ۴۹/۷ و ۴۸/۳ درصد بود. با افزایش سطح آلودگی خاک به کروم درصد زنده‌مانی کاهش یافت. این کاهش از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد (شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس اثر زمان تماس کرم‌ها با آلودگی خاک بر درصد زنده‌مانی آن‌ها نشان داد که کاهش درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم با گذشت زمان از نظر آماری معنی‌دار است. بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم به کروم، در پایان آزمایش برابر با زمان آغاز آزمایش، ۳۷/۶ درصد کاهش یافت (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح گوناگون ماده آلی بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، در خاک‌های آلوده به کروم، نشان داد که با

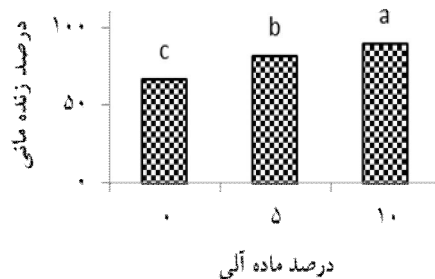
افزایش سطح ماده آلی خاک درصد زنده‌مانی کرم‌ها به گونه معنی‌داری افزایش یافت. درصد زنده‌مانی در خاک‌های با ۵ و ۱۰ درصد ماده آلی در برابر خاک‌های بدون ماده آلی به ترتیب ۱۴/۷ و ۲۳/۲ درصد افزایش یافت و به ۸۱/۷ و ۹۰/۲ درصد رسید (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش‌ها نشان داد بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در تیمار بدون آلودگی به کروم و دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به اندازه ۱۰۴/۳ درصد و کم‌ترین درصد زنده‌مانی در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی، به اندازه ۳۵/۷ درصد بود (جدول ۴). کم‌ترین درصد زنده‌مانی در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در پایان آزمایش، به اندازه ۷/۲ درصد بود و پس از آن کم‌ترین درصد زنده‌مانی در تیمار دارای سطح آلودگی ۱۶۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، به اندازه ۱۵ درصد بود (جدول ۵). بیش‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی پس از آغاز آزمایش، در ۱۵ روز نخست آزمایش در تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به اندازه ۹۲/۵ درصد است (جدول ۶). کم‌ترین درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی، در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی در ۱۵ روز پایانی آزمایش است (جدول ۷).



شکل ۱- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به کروم بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی.



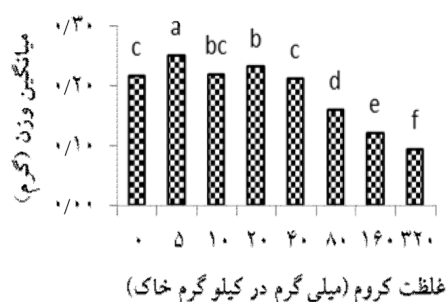
شکل ۲- اثر زمان تماس بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.



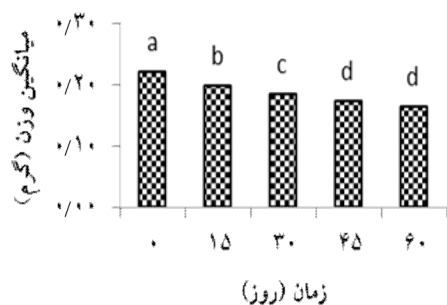
شکل ۳- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر درصد زنده‌مانی کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کرم.

وزن کرم‌های خاکی: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن کرم‌های خاکی نشان داد که پیامدهای اصلی سطوح گوناگون کرم، زمان تماس و سطوح گوناگون ماده آلی و همچنین برهم‌کنش‌های آن‌ها به‌جز اثر متقابل سطوح گوناگون کرم، زمان و سطوح گوناگون ماده آلی بر وزن کرم‌های خاکی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی به اندازه ۰/۲۵ گرم در سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کرم در کیلوگرم خاک بود که در برابر تیمار شاهد ۱۵/۰۷ درصد افزایش داشت. پس از سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کرم در کیلوگرم خاک، بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی در سطوح آلودگی ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کرم در کیلوگرم خاک بود که هر دو در یک کلاس آماری قرار داشتند. پس از سطح آلودگی ۴۰ میلی‌گرم کرم در کیلوگرم خاک، میانگین وزن کرم‌های خاکی در برابر تیمار شاهد کاهش یافت و در سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کرم در کیلوگرم خاک به کم‌ترین میزان خود به اندازه ۰/۰۹۴ گرم رسید (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با گذشت زمان میانگین وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کرم به گونه معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌ها در ۱۵ روز اول آزمایش بود. در روز ۱۵ آزمایش در برابر زمان آغاز آزمایش، میانگین وزن کرم‌های خاکی ۱۰/۷۶ درصد کاهش یافت. در پایان آزمایش، میانگین وزن کرم‌های خاکی در برابر آغاز آزمایش ۲۶/۰۱ درصد کاهش یافت و به ۰/۱۶۵ گرم رسید (شکل ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش میزان ماده آلی خاک، میانگین وزن کرم‌های خاکی افزایش یافت. بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی متعلق به تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی بود. البته میانگین وزن در این تیمار با تیمار دارای ۵ درصد ماده آلی تفاوت معنی‌دار آماری نداشت (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش‌ها نشان داد بیش‌ترین میانگین

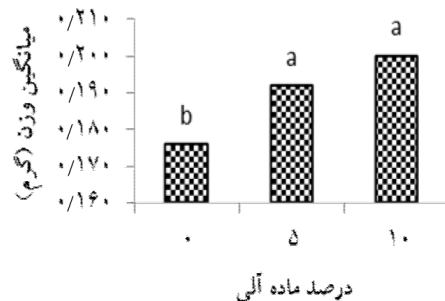
وزن کرم‌ها در تیمارهای دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی و سطح آلودگی ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک دارای ۵ درصد ماده آلی، به ترتیب، به اندازه ۰/۲۹۱ و ۰/۲۷۲ گرم بود و کم‌ترین میانگین وزن کرم‌ها در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی، به اندازه ۰/۰۷۱ گرم بود (جدول ۴). بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی در تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، به اندازه ۰/۲۵۴ گرم و کم‌ترین میانگین وزن کرم‌ها در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، به اندازه ۰/۰۱ گرم بود (جدول ۵). بیش‌ترین میانگین وزن کرم‌های خاکی پس از آغاز آزمایش، در تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی در ۱۵ روز نخست آزمایش به اندازه ۰/۲۰۲ گرم و کم‌ترین میانگین وزن کرم‌ها در تیمار بدون ماده آلی در پایان آزمایش، به اندازه ۰/۱۳۱ گرم بود (جدول ۶).



شکل ۴- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به کروم بر وزن کرم‌های خاکی.



شکل ۵- اثر زمان تماس بر وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.



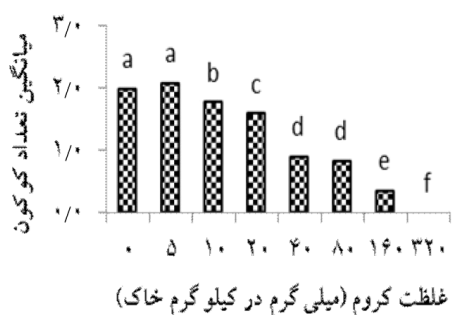
شکل ۶- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر وزن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.

فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌های خاکی: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ساخت کوکون کرم‌های خاکی نشان داد که پیامدهای اصلی سطوح گوناگون کروم، زمان تماس و سطوح گوناگون ماده آلی و همچنین برهم‌کنش‌های آن‌ها بر فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌های خاکی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت کروم خاک فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌ها به گونه معنی‌داری کاهش یافت. به گونه‌ای که بیش‌ترین فراوانی کوکون در سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک با میانگین ۲/۰۹ عدد دیده شد که با میانگین فراوانی کوکون در تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک هیچ کوکونی دیده نشد (شکل ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با گذشت زمان میانگین فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌ها افزایش یافت. کم‌ترین فراوانی کوکون در ۱۵ روز نخست آزمایش با میانگین ۰/۹ عدد اندازه‌گیری گردید. در پایان آزمایش میانگین فراوانی کوکون پدید آمده ۱/۸۶ عدد بود که در برابر ۱۵ روز نخست آزمایش ۲/۰۷ برابر شد (شکل ۸).

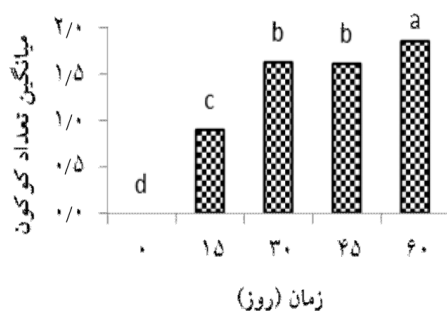
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح ماده آلی در خاک‌های آلوده به کروم میانگین فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌ها به گونه معنی‌داری افزایش یافت. به گونه‌ای که در خاک‌های بدون ماده آلی کم‌ترین فراوانی کوکون با میانگین ۰/۷۳ عدد دیده شد. در خاک‌های دارای ۵ و ۱۰ درصد ماده آلی میانگین فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌ها در برابر خاک‌های بدون ماده آلی به ترتیب ۱/۶۸ و ۲/۲۵ برابر بود (شکل ۹). نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش‌ها نشان داد بیش‌ترین کوکون پدید آمده در تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک دارای ۱۰ درصد ماده آلی، به

اندازه ۲/۶ عدد بود. در تیمار دارای سطح آلودگی ۱۶۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده آلی و همچنین تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک، کوکونی دیده نشد (جدول ۴).

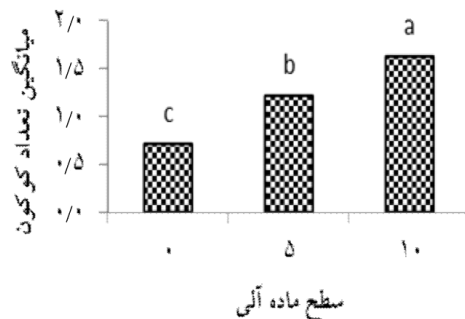
بیشترین کوکون پدید آمده در تیمار دارای سطح آلودگی ۵ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک در پایان آزمایش، به اندازه ۳/۳۳ عدد بود. در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک در همه زمان آزمایش، کوکونی دیده نشد (جدول ۵). بیشترین کوکون پدید آمده در ۱۵ روز پایانی آزمایش در تیمار دارای ۱۰ درصد ماده آلی بود (جدول ۶). در تیمارهایی که دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی گرم کروم در کیلوگرم خاک بودند، با هر سطح ماده آلی در همه زمان آزمایش، تولید کوکون انجام نشد (جدول ۷).



شکل ۷- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به کروم بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی.



شکل ۸- اثر زمان تماس بر تولید کوکون توسط کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.

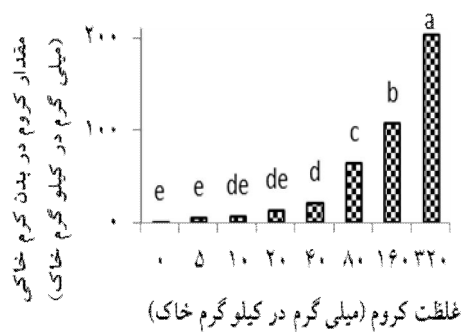


شکل ۹- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر تولید کونکون توسط کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.

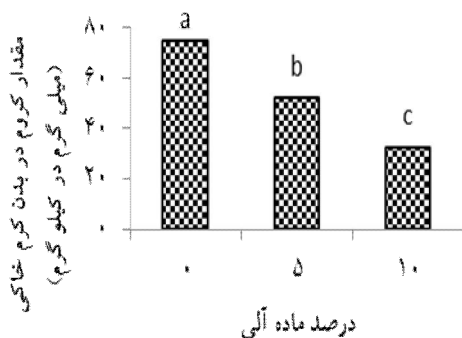
انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی نشان داد که پیامدهای اصلی سطوح گوناگون کروم و ماده آلی و برهم‌کنش آن‌ها بر انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت کروم خاک اندازه انباشتگی آن در بدن کرم‌های خاکی به گونه معنی‌داری افزایش یافت. کم‌ترین انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی در تیمار شاهد و تیمارهای دارای سطح آلودگی ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بود و بیش‌ترین انباشتگی کروم در سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک به اندازه ۲۰۳/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک بود (شکل ۱۰). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش درصد ماده آلی در خاک‌های آلوده به کروم انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی به گونه معنی‌داری کاهش یافت. بیش‌ترین انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی در تیمار بدون ماده آلی با میانگین ۷۴/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک بود (شکل ۱۱). فاکتور انباشتگی زیستی کروم در بدن کرم‌های خاکی در سطوح گوناگون آلودگی خاک به کروم در جدول ۸ آورده شده است. بیش‌ترین اندازه فاکتور انباشتگی زیستی کروم در سطح آلودگی ۵ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک با اندازه ۱/۰۵ و کم‌ترین اندازه این فاکتور در سطح آلودگی ۴۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک با اندازه ۰/۶ بود. نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش‌ها نشان داد بیش‌ترین انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی در تیمار دارای سطح آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بدون ماده

آلی، به اندازه ۲۹۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم کرم خشک بود. کمترین انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی در تیمار بدون آلودگی دارای ۱۰ درصد ماده آلی با اندازه ۰/۳۸ میلی گرم در کیلوگرم کرم خشک بود (جدول ۴).

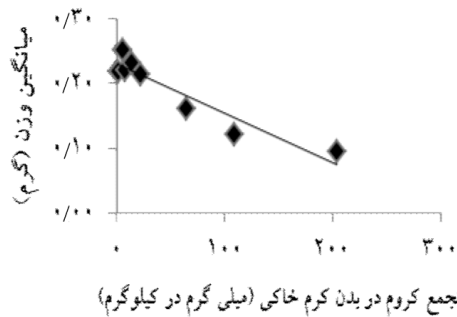
انباشتگی زیستی کروم در بدن کرم‌های خاکی بر وزن و توانایی ساخت کوکون توسط کرم‌های خاکی مؤثر است. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد که میان انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی و میانگین وزن کرم‌ها و توانایی ساخت کوکون توسط آن‌ها همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد. با افزایش انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی، میانگین وزن کرم‌های خاکی و توانایی ساخت کوکون توسط آن‌ها کاهش یافت (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



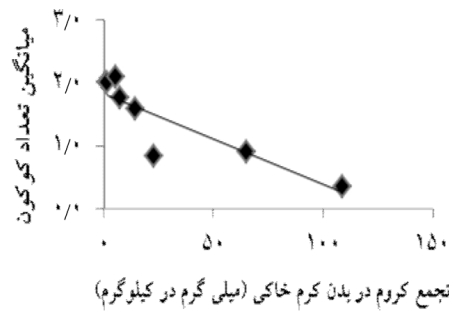
شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف آلودگی خاک به کروم بر میزان تجمع کروم در بدن کرم‌های خاکی.



شکل ۱۱- اثر سطوح مختلف ماده آلی بر میزان تجمع کروم در بدن کرم‌های خاکی در خاک‌های آلوده به کروم.



شکل ۱۲- ارتباط بین میزان تجمع کروم در بدن کرم‌های خاکی و میانگین وزن آن‌ها.



شکل ۱۳- ارتباط بین میزان تجمع کروم در بدن کرم‌های خاکی و میانگین تعداد کوکون تولیدی توسط آن‌ها.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های بررسی شده در کرم‌های خاکی.

مجموع مربعات				منبع تغییر
انباشتگی کروم در بدن کرم‌ها	فراوانی کوکون پدید آمده	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی	
۳۱۸۰۲۶/**	۱۹۲/۶/**	۱/۰۲/**	۱۳۷۱۴۹/**	سطح کروم
-----	۱۶۴/۱/**	۰/۱۴/**	۶۱۰۲۱/**	زمان
۲۱۶۹۷/**	۴۹/۹/**	۰/۰۳/**	۳۳۳۱۷/**	ماده آلی
۳۷۳۹۸/**	۱۲/۶/**	۰/۱۸/**	۱۷۳۷۰/**	کروم × ماده آلی
-----	۸۴/۱/**	۰/۳۵/**	۵۱۸۷۶/**	کروم × زمان
-----	۲۰/۹/**	۰/۰۴/**	۱۴۹۳۳/**	زمان × ماده آلی
-----	۲۷/۵/**	۰/۰۶ ^{ns}	۱۰۶۱۲/**	کروم × زمان × ماده آلی
۱۱۴۹۵	۱۶/۶	۰/۲۱	۱۰۸۶۶	خطا
۳۸۸۶۱۸	۵۶۸	۲/۰۶	۳۳۷۱۴۸	کل

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۴- نتایج برهم‌کنش غلظت کروم و سطح ماده آلی بر ویژگی‌های بررسی شده در کرم‌های خاکی.

اندازه انباشتگی کروم در بدن کرم‌ها (میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک)	میانگین			سطح ماده آلی (درصد)	غلظت کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
	فراوانی کوکون پدید آمده	وزن (گرم)	درصد زنده‌مانی		
۱/۴۹ ⁱ	۱/۶۷ ^c	۰/۱۸۶ ^{gh}	۹۱/۳ ^{de}	۰	۰
۰/۹۳ ⁱ	۱/۸۷ ^{bc}	۰/۲۵۶ ^{bc}	۱۰۳/۳ ^{ab}	۵	۰
۰/۳۸ ⁱ	۲/۴۷ ^a	۰/۲۱۶ ^{d-h}	۱۰۴/۳ ^a	۱۰	۰
۷/۲۸ ^{hi}	۱/۶۰ ^{cd}	۰/۲۹۱ ^a	۹۳/۷ ^{c-e}	۰	۵
۴/۹۷ ^{hi}	۲/۰۷ ^b	۰/۲۳۱ ^{c-f}	۹۸/۳ ^{a-c}	۵	۵
۳/۵۱ ^{hi}	۲/۶۰ ^a	۰/۲۳۵ ^{c-e}	۱۰۰/۷ ^{ab}	۱۰	۵
۹/۱۶ ^{hi}	۰/۹۳ ^{fg}	۰/۲۱۸ ^{d-g}	۸۸/۳ ^{ef}	۰	۱۰
۷/۰۹ ^{hi}	۱/۸۷ ^{bc}	۰/۲۰۳ ^{e-h}	۹۳/۷ ^{c-e}	۵	۱۰
۴/۶۱ ^{hi}	۲/۵۳ ^a	۰/۲۴۱ ^{cd}	۱۰۱/۳ ^{ab}	۱۰	۱۰
۱۷/۶۵ ^{hi}	۱/۱۳ ^{ef}	۰/۱۹۹ ^{f-h}	۸۳/۳ ^{fg}	۰	۲۰
۱۴/۱۴ ^{hi}	۱/۶۰ ^{cd}	۰/۲۷۶ ^{ab}	۸۷/۰ ^{ef}	۵	۲۰
۹/۷۲ ^{hi}	۲/۰۷ ^b	۰/۲۲۷ ^{c-f}	۹۸/۷ ^{a-c}	۱۰	۲۰
۳۶/۳۱ ^{g-i}	۰/۲۷ ^{hi}	۰/۲۱۹ ^{d-g}	۵۹/۷ ^h	۰	۴۰
۲۰/۷۲ ^{hi}	۰/۹۳ ^{fg}	۰/۲۰۰ ^{f-h}	۹۷/۰ ^{b-d}	۵	۴۰
۱۰/۰۶ ^{hi}	۱/۳۳ ^{de}	۰/۲۲۵ ^{c-f}	۱۰۴/۰ ^{ab}	۱۰	۴۰
۸۰/۷۵ ^{ef}	۰/۲۱ ^{hi}	۰/۱۱۳ ^{jk}	۴۰/۷ ^j	۰	۸۰
۷۰/۵۵ ^{fg}	۱/۰۷ ^{ef}	۰/۱۹۰ ^{gh}	۷۹/۷ ^g	۵	۸۰
۴۲/۷۶ ^{gh}	۱/۲۷ ^c	۰/۱۸۱ ^h	۸۸/۷ ^{ef}	۱۰	۸۰
۱۵۱/۹۶ ^c	۰/۰۰ ⁱ	۰/۱۱۱ ^{jk}	۴۳/۶ ^j	۰	۱۶۰
۱۱۱/۳۰ ^{de}	۰/۳۳ ^h	۰/۱۱۰ ^{jk}	۴۱/۳ ^j	۵	۱۶۰
۶۱/۷۹ ^{fg}	۰/۷۳ ^g	۰/۱۴۵ ⁱ	۶۳/۲ ^h	۱۰	۱۶۰
۲۹۴/۴۰ ^a	۰/۰۰ ⁱ	۰/۰۷۱ ^l	۳۵/۷ ^j	۰	۳۲۰
۱۸۸/۹۲ ^b	۰/۰۰ ⁱ	۰/۰۸۰ ^{kl}	۴۹/۷ ⁱ	۵	۳۲۰
۱۲۶/۲۱ ^{cd}	۰/۰۰ ⁱ	۰/۱۳۰ ^{ij}	۵۹/۷ ^h	۱۰	۳۲۰

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

جدول ۵- نتایج برهم کنش غلظت کروم و زمان بر ویژگی های بررسی شده در کرم های خاکی.

فرآوانی کوکون پدید آمده	میانگین		زمان (روز)	غلظت کروم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زندهمانی		
۰/۰۰ ^m	۰/۲۰۸ ^{b-e}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۰
۱/۰۰ ^{h-j}	۰/۲۱۶ ^{a-d}	۹۸/۹ ^a	۱۵	۰
۲/۷۸ ^{b-d}	۰/۲۲۱ ^{a-d}	۹۸/۹ ^a	۳۰	۰
۳/۱۱ ^{ab}	۰/۲۲۴ ^{a-d}	۱۰۰/۶ ^a	۴۵	۰
۳/۱۱ ^{ab}	۰/۲۳ ^{a-d}	۱۰۰/۰ ^a	۶۰	۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۵۱ ^{a-c}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۵
۱/۳۳ ^{gh}	۰/۲۵۱ ^{a-c}	۱۰۰/۰ ^a	۱۵	۵
۲/۷۸ ^{b-d}	۰/۲۵۳ ^{ab}	۹۷/۲ ^a	۳۰	۵
۳/۰۰ ^{a-c}	۰/۲۵۳ ^{ab}	۹۶/۱ ^a	۴۵	۵
۳/۳۳ ^a	۰/۲۵۴ ^a	۹۴/۴ ^{ab}	۶۰	۵
۰/۰۰ ^m	۰/۲۱۹ ^{a-d}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۱۰
۱/۲۲ ^{gh}	۰/۲۲۰ ^{a-d}	۹۹/۴ ^a	۱۵	۱۰
۲/۵۶ ^{de}	۰/۲۲۰ ^{a-d}	۹۵/۰ ^{ab}	۳۰	۱۰
۲/۴۴ ^{de}	۰/۲۲۰ ^{a-d}	۹۳/۳ ^{a-c}	۴۵	۱۰
۲/۶۷ ^{c-e}	۰/۲۲۰ ^{a-d}	۸۴/۴ ^{c-f}	۶۰	۱۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۳ ^{a-d}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۲۰
۱/۳۳ ^{gh}	۰/۲۳۱ ^{a-d}	۹۳/۹ ^{ab}	۱۵	۲۰
۲/۳۳ ^{ef}	۰/۲۳۳ ^{a-d}	۹۰/۶ ^{a-e}	۳۰	۲۰
۲/۰۰ ^f	۰/۲۳۸ ^{a-c}	۸۴/۴ ^{c-f}	۴۵	۲۰
۲/۳۳ ^{ef}	۰/۲۳۸ ^{a-c}	۷۹/۴ ^{fg}	۶۰	۲۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۲۷ ^{a-d}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۴۰
۱/۲۲ ^{gh}	۰/۲۱۲ ^{a-d}	۹۲/۲ ^{a-d}	۱۵	۴۰
۰/۶۷ ^{j-l}	۰/۲۱۴ ^{a-d}	۸۶/۷ ^{b-f}	۳۰	۴۰
۱/۱۱ ^{g-i}	۰/۲۱۴ ^{a-d}	۸۳/۹ ^{d-f}	۴۵	۴۰
۱/۲۲ ^{gh}	۰/۲۰۴ ^{c-e}	۷۱/۸ ^{gh}	۶۰	۴۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۰۹ ^{a-e}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۸۰
۰/۷۸ ^{i-k}	۰/۱۸۹ ^{d-f}	۸۱/۷ ^{ef}	۱۵	۸۰
۱/۴۴ ^g	۰/۱۶۸ ^{e-g}	۶۶/۷ ^h	۳۰	۸۰
۰/۷۸ ^{i-k}	۰/۱۲۳ ^h	۵۳/۳ ⁱ	۴۵	۸۰

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

ادامه جدول ۵-

فرآوانی کوکون پدید آمده	میانگین		زمان (روز)	غلظت کروم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
	وزن (گرم)	درصد زندهمانی		
۱/۴۳ ^g	۰/۱۱۴ ^{hi}	۴۶۷ ^{ij}	۶۰	۸۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۰۴ ^{c-e}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۱۶۰
۰/۳۳ ^{lm}	۰/۱۵۲ ^{f-h}	۵۴/۴ ⁱ	۱۵	۱۶۰
۰/۴۴ ^{kl}	۰/۱۲۹ ^{gh}	۴۰/۶ ^j	۳۰	۱۶۰
۰/۳۳ ^{lm}	۰/۰۸۰ ^{ij}	۳۳/۱ ^k	۴۵	۱۶۰
۰/۶۷ ^{j-l}	۰/۰۴۶ ^{j-l}	۱۵۰ ^{lm}	۶۰	۱۶۰
۰/۰۰ ^m	۰/۲۳۸ ^{a-c}	۱۰۰/۰ ^a	۰	۳۲۰
۰/۰۰ ^m	۰/۱۲۶ ^h	۷۱/۱ ^{gh}	۱۵	۳۲۰
۰/۰۰ ^m	۰/۰۶۰ ^{jk}	۴۲/۳ ^j	۳۰	۳۲۰
۰/۰۰ ^m	۰/۰۳۶ ^{kl}	۲۱/۱ ^l	۴۵	۳۲۰
۰/۰۰ ^m	۰/۰۱۰ ^l	۷/۳ ^m	۶۰	۳۲۰

جدول ۶- نتایج برهم کنش زمان و سطح ماده آلی بر ویژگی‌های بررسی شده در کرم‌های خاکی.

فرآوانی کوکون پدید آمده	میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)
	وزن (گرم)	درصد زندهمانی		
۰/۰۰ ^h	۰/۲۳۱ ^a	۱۰۰ ^a	۰	۰
۰/۰۰ ^h	۰/۲۱۷ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۵	۰
۰/۰۰ ^h	۰/۲۲۰ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۱۰	۰
۰/۶۳ ^g	۰/۱۹۹ ^{b-d}	۸۰ ^d	۰	۱۵
۱/۰۰ ^{ef}	۰/۱۹۹ ^{b-d}	۸۶ ^c	۵	۱۵
۱/۰۸ ^{ef}	۰/۲۰۲ ^{bc}	۹۲ ^b	۱۰	۱۵
۱/۰۰ ^{ef}	۰/۱۷۳ ^d	۶۳ ^f	۰	۳۰
۱/۶۷ ^{cd}	۰/۱۹۰ ^{cd}	۷۹ ^d	۵	۳۰
۲/۲۱ ^b	۰/۱۹۸ ^{b-d}	۹۰ ^{bc}	۱۰	۳۰
۰/۸۸ ^f	۰/۱۴۶ ^e	۵۲ ^g	۰	۴۵
۱/۵۸ ^d	۰/۱۸۰ ^{cd}	۷۲ ^e	۵	۴۵
۲/۳۳ ^{ab}	۰/۱۹۶ ^{b-d}	۸۸ ^{bc}	۱۰	۴۵
۱/۱۷ ^e	۰/۱۳۱ ^e	۳۹ ^h	۰	۶۰
۱/۸۷ ^c	۰/۱۷۹ ^{cd}	۶۷ ^f	۵	۶۰
۲/۵۰ ^a	۰/۱۸۴ ^{cd}	۸۰ ^d	۱۰	۶۰

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

جدول ۷- نتایج برهم‌کنش غلظت کروم، زمان و سطح ماده آلی بر ویژگی‌های بررسی شده در کرم‌های خاکی.

میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)	غلظت کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
فراوانی کوکون پدید آمده	درصد زنده‌مانی			
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۶/۷ ^{a-e}	۰	۱۵	۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۱۵	۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۱۵	۰
۳/۰۰ ^{bc}	۹۳/۳ ^{a-f}	۰	۳۰	۰
۲/۰۰ ^{de}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۳۰	۰
۳/۳۳ ^{ab}	۱۰۳/۳ ^{a-d}	۱۰	۳۰	۰
۲/۰۰ ^{de}	۸۶/۷ ^{d-g}	۰	۴۵	۰
۳/۳۳ ^{ab}	۱۰۶/۷ ^{a-c}	۵	۴۵	۰
۴/۰۰ ^a	۱۰۸/۳ ^{ab}	۱۰	۴۵	۰
۲/۳۳ ^{cd}	۸۰/۰ ^{g-j}	۰	۶۰	۰
۳/۰۰ ^{bc}	۱۱۰/۰ ^a	۵	۶۰	۰
۴/۰۰ ^a	۱۱۰/۰ ^a	۱۰	۶۰	۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۵
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۵
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۵
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۱۵	۵
۲/۰۰ ^{de}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۱۵	۵
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۱۵	۵
۲/۰۰ ^{de}	۹۳/۳ ^{a-f}	۰	۳۰	۵
۲/۳۳ ^{cd}	۹۸/۳ ^{a-d}	۵	۳۰	۵
۴/۰۰ ^a	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۳۰	۵
۲/۰۰ ^{de}	۸۸/۳ ^{c-g}	۰	۴۵	۵
۳/۰۰ ^{bc}	۹۸/۳ ^{a-d}	۵	۴۵	۵
۴/۰۰ ^a	۱۰۱/۷ ^{a-d}	۱۰	۴۵	۵
۳/۰۰ ^{bc}	۸۶/۷ ^{d-h}	۰	۶۰	۵
۳/۰۰ ^{bc}	۹۵/۰ ^{a-f}	۵	۶۰	۵
۴/۰۰ ^a	۱۰۱/۷ ^{a-d}	۱۰	۶۰	۵

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

ادامه جدول ۷-

میانگین		سطح ماده آلی (درصد)	زمان (روز)	غلظت کروم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
فراوانی کوکون پدید آمده	درصد زنده مانی			
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۱۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۱۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۱۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۱۵	۱۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۹۸/۳ ^{a-d}	۵	۱۵	۱۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۱۵	۱۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۹۰/۰ ^{b-f}	۰	۳۰	۱۰
۳/۰۰ ^{bc}	۹۵/۰ ^{a-f}	۵	۳۰	۱۰
۳/۳۳ ^{ab}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۳۰	۱۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۸۳/۳ ^{f-i}	۰	۴۵	۱۰
۲/۰۰ ^{de}	۹۱/۷ ^{a-g}	۵	۴۵	۱۰
۴/۰۰ ^a	۱۰۵/۰ ^{a-c}	۱۰	۴۵	۱۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۶۸/۳ ^{l-o}	۰	۶۰	۱۰
۳/۰۰ ^{bc}	۸۳/۳ ^{f-i}	۵	۶۰	۱۰
۴/۰۰ ^a	۱۰۱/۷ ^{a-d}	۱۰	۶۰	۱۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۲۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۰/۰ ^{b-f}	۰	۱۵	۲۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۳/۳ ^{a-f}	۵	۱۵	۲۰
۲/۰۰ ^{de}	۹۸/۳ ^{a-d}	۱۰	۱۵	۲۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۸۳/۳ ^{f-i}	۰	۳۰	۲۰
۳/۰۰ ^{bc}	۸۸/۳ ^{c-g}	۵	۳۰	۲۰
۳/۰۰ ^{bc}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۳۰	۲۰
۱/۶۷ ^{d-f}	۷۶/۷ ^{i-m}	۰	۴۵	۲۰
۲/۰۰ ^{de}	۷۸/۳ ^{h-m}	۵	۴۵	۲۰
۲/۳۳ ^{cd}	۹۸/۳ ^{a-d}	۱۰	۴۵	۲۰
۲/۰۰ ^{de}	۶۶/۷ ^{m-p}	۰	۶۰	۲۰
۲/۰۰ ^{de}	۷۵/۰ ^{j-n}	۵	۶۰	۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۶۰	۲۰

زهرا جمشیدی اردکانی و همکاران

ادامه جدول ۷-

میانگین		سطح ماده آلی	زمان (روز)	غلظت کروم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
فراوانی کوکون پدید آمده	درصد زنده ماننی	(درصد)		
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۴۰
۰/۶۷ ^{g-i}	۷۸/۳ ^{h-l}	۵	۰	۴۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۹۸/۳ ^{a-d}	۱۰	۰	۴۰
۱/۶۷ ^{d-f}	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۱۵	۴۰
۰/۰۰ ⁱ	۵۸/۳ ^{p-s}	۵	۱۵	۴۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۸/۳ ^{a-d}	۱۰	۱۵	۴۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۰۳/۳ ^{a-d}	۰	۳۰	۴۰
۰/۰۰ ⁱ	۴۸/۳ ^{s-u}	۵	۳۰	۴۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۹۵/۰ ^{a-f}	۱۰	۳۰	۴۰
۲/۰۰ ^{de}	۱۰۸/۳ ^{ab}	۰	۴۵	۴۰
۰/۶۷ ^{g-i}	۱۳/۳ ^z	۵	۴۵	۴۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۳/۳ ^{a-f}	۱۰	۴۵	۴۰
۲/۰۰ ^{de}	۱۰۸/۳ ^{ab}	۰	۶۰	۴۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۶۰	۴۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۶۰	۴۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۸۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۸۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۸۰
۰/۳۳ ^{hi}	۶۶/۳ ^{m-p}	۰	۱۵	۸۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۸۳/۳ ^{c-g}	۵	۱۵	۸۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۹۵/۰ ^{a-f}	۱۰	۱۵	۸۰
۰/۶۷ ^{g-i}	۳۳/۳ ^{u-x}	۰	۳۰	۸۰
۱/۶۷ ^{d-f}	۷۸/۳ ^{h-l}	۵	۳۰	۸۰
۲/۰۰ ^{de}	۸۸/۳ ^{c-g}	۱۰	۳۰	۸۰
۰/۰۰ ⁱ	۳/۳ ^z	۰	۴۵	۸۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۷۱/۳ ^{k-o}	۵	۴۵	۸۰
۱/۳۳ ^{e-g}	۸۵/۰ ^{e-i}	۱۰	۴۵	۸۰
۰/۰۰ ⁱ	۰/۰ ^z	۰	۶۰	۸۰
۲/۰۰ ^{de}	۶۵/۰ ^{n-r}	۵	۶۰	۸۰
۲/۰۰ ^{de}	۷۵/۰ ^{j-n}	۱۰	۶۰	۸۰

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

ادامه جدول ۷-

میانگین		سطح ماده آلی	زمان (روز)	غلظت کروم (میلی گرم در کیلوگرم خاک)
فراوانی کوکون پدید آمده	درصد زنده ماننی	(درصد)		
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۵۳/۳ ^{r-t}	۰	۱۵	۱۶۰
۰/۳۳ ^{hi}	۴۱/۷ ^{t-v}	۵	۱۵	۱۶۰
۰/۶۷ ^{g-i}	۶۸/۳ ^{l-o}	۱۰	۱۵	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۳۵/۰ ^{u-w}	۰	۳۰	۱۶۰
۰/۳۳ ^{hi}	۳۱/۷ ^{u-y}	۵	۳۰	۱۶۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۶۲/۵ ^{n-s}	۱۰	۳۰	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۲۰/۰ ^{x-z}	۰	۴۵	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۸/۳ ^{yz}	۵	۴۵	۱۶۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۵۶/۷ ^{q-t}	۱۰	۴۵	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۱/۷ ^z	۰	۶۰	۱۶۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۱۵/۰ ^{yz}	۵	۶۰	۱۶۰
۱/۰۰ ^{f-h}	۲۸/۳ ^{w-y}	۱۰	۶۰	۱۶۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۰	۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۵	۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۰۰/۰ ^{a-d}	۱۰	۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۶۰/۰ ^{o-r}	۰	۱۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۷۵/۰ ^{j-n}	۵	۱۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۷۸/۳ ^{h-l}	۱۰	۱۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۸/۳ ^{yz}	۰	۳۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۴۸/۳ ^{s-u}	۵	۳۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۶۰/۰ ^{o-r}	۱۰	۳۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۰/۰ ^z	۰	۴۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۲۱/۷ ^{x-z}	۵	۴۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۴۱/۷ ^{t-v}	۱۰	۴۵	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۰/۰ ^z	۰	۶۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۳/۳ ^z	۵	۶۰	۳۲۰
۰/۰۰ ⁱ	۱۸/۳ ^z	۱۰	۶۰	۳۲۰

جدول ۸- فاکتور انباشتگی زیستی کروم در بدن کرم‌های خاکی در سطوح گوناگون آلودگی خاک به کروم.

فاکتور انباشتگی زیستی	غلظت کروم در بدن کرم‌های خاکی (میلی‌گرم در کیلوگرم کرم خشک)	غلظت کروم در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)
-----	۰/۹۳	۰
۱/۰۵	۵/۲۶	۵
۰/۷۰	۶/۹۵	۱۰
۰/۶۹	۱۳/۸۴	۲۰
۰/۵۶	۲۲/۳۶	۴۰
۰/۸۱	۶۴/۶۸	۸۰
۰/۶۸	۱۰۸/۳۵	۱۶۰
۰/۶۳	۲۰۳/۱۸	۳۲۰

بحث

نتیجه این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت کروم خاک، زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون توسط کرم‌های خاکی به گونه معنی‌داری کاهش یافت. هرچه کرم‌های خاکی زمان بیش‌تری در برابر آلودگی خاک گذاشته شدند، اندازه زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون آن‌ها کاهش بیش‌تری یافت. ولی ماده آلی پیامدهای زهری کروم بر کرم‌های خاکی را کاهش داد و مایه افزایش زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون آن‌ها شد. در pH خنثی کروم شش‌ظرفیتی انحلال‌پذیرتر است و بنابراین به آسانی به درون غشای یاخته رفته و پیامدهای زهری بیش‌تری دارد (سیواکومار و همکاران، ۲۰۰۵). pH خاک نیز در این پژوهش خنثی (۷/۲۷) بود و از این رو کروم مایه کاهش رشد و زایش کرم‌ها شده است. بر پایه پژوهش‌های لاک و جانسن (۲۰۰۲) ساخت کوکون از کرم خاکی گونه *E. fetida* در غلظت‌های ۶۷۹-۱۱۱۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک، ۵۰ درصد کاهش داشت که بسیار بیش‌تر از پیامدهای زیان‌بار دیده شده در این پژوهش است. زیرا در این پژوهش بیشینه غلظت به‌کار رفته در بررسی پارامترهای رشدی کرم خاکی ۳۲۰ میلی‌گرم عنصر کروم در کیلوگرم خاک بود. با افزایش سطح آلودگی خاک به کروم انباشتگی این عنصر در بدن کرم‌های خاکی افزایش یافت. لدوک و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که بیش‌ترین انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی ۸۹ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم بود. در این پژوهش انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی در هر سطح آلودگی ناهمانند بوده و بیش‌ترین انباشتگی ۲۰۳ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم کرم خشک در سطح

آلودگی ۳۲۰ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم خاک بود. این یافته‌ها با گزارش لدوک و همکاران (۲۰۰۸) هم‌خوانی ندارد که شاید وابسته به چگونگی آلاینده‌هایی باشد که آن‌ها در پژوهش خود بهره‌گیری کردند. گونه آلاینده‌هایی که لدوک و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش خود بهره‌گیری کردند، برخی از مواد محافظ چوب بودند که دارای درصد‌های گوناگونی از انواع عنصرها و فلزهای سنگین بودند و سطح آلودگی که داشتند، با سطح آلودگی که در این پژوهش به‌کار رفت ناهم‌اند بود.

در سطوح گوناگون ماده آلی انباشتگی کروم در بدن کرم‌های خاکی نیز اندازه‌گیری شد که بیش‌ترین انباشتگی در تیمار بدون ماده آلی با اندازه ۷۴/۸ میلی‌گرم کروم در کیلوگرم کرم خشک بود. آلاینده‌های خاک از راه دهان و همچنین تماس مستقیم پوستی وارد بدن کرم‌های خاکی می‌شوند و فقط آلاینده‌هایی می‌توانند وارد بدن کرم‌ها شوند که به‌صورت محلول در آب خاک وجود دارند (لانو و همکاران، ۲۰۰۴). به‌نظر می‌رسد مواد آلی خاک، با جذب کروم محلول در آب خاک، دسترسی زیستی این عنصر را برای کرم‌های خاکی کاهش داده و بنابراین هرچه اندازه ماده آلی خاک بیش‌تر باشد کروم کم‌تری وارد بدن کرم‌های خاکی شده و در پی آن پیامدهای زهری کروم بر کرم‌های خاکی کاهش یافته است.

انباشتگی زیستی کروم در بدن کرم‌های خاکی مایه کاهش وزن و فراوانی کوکون کرم‌ها شد. کاهش فراوانی کوکون پدید آمده از کرم‌ها در برابر کاهش وزن با شتاب بیش‌تری انجام شد. این نشان می‌دهد که در خاک‌های آلوده به کروم کرم‌های خاکی بیش‌تر انرژی و توانایی خود را صرف رشد کردن کرده‌اند. بنابراین زایش آن‌ها کاهش بیش‌تری یافت. به بیان دیگر انباشتگی کروم در بدن کرم‌ها موجب شد بلوغ آن‌ها دیرتر رخ دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که ویژگی‌های رشدی کرم‌های خاکی شامل زنده‌مانی، وزن و ساخت کوکون برای شناسایی و ارزیابی آلودگی خاک به فلزهای سنگین سودمند هستند و در آزمایش‌های سم‌شناسی استاندارد بهره‌گیری از این ویژگی‌ها پیشنهاد شده است. همچنین با تجزیه بدن آن‌ها می‌توان گونه و درجه آلودگی خاک را بررسی کرد. بهره‌گیری از ماده آلی از شدت پیامدهای بد و زهری کروم بر کرم‌های خاکی کاسته است. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای کاهش جذب فلزهای سنگین در جانداران خاکزی و کاهش پیامدهای بد و زهری آلودگی خاک به فلزهای سنگین بر آن‌ها، به خاک‌های آلوده ماده آلی افزود.

منابع

1. Allen, H.E. (Ed.) 2002. Bioavailability of Metals in Terrestrial Ecosystems: Importance of Partitioning for Bioavailability to Invertebrates, Microbes and Plants. New York: Society for Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC Press. 158p.
2. Barceloux, D.G. 1999. Chromium. J. Clinic. Toxicol. 37: 2. 173-194.
3. Boyer, J., Micellon, R., Chabanne, A., Reversat, G., and Tiber, R. 1991. Effect of terfoli cover crop and earthworm inoculation on maize crop and soil organisms in Reunion Island. Biology and Fertility of Soils. 28: 364-370.
4. Celik, A., and Demirbas, A. 2005. Removal of heavy metal ions from aqueous solutions via adsorption onto modified lignin from pulping waste. Energy Sources. 27: 1167-1177.
5. EPA (US Environmental Protection Agency). 2001. National scale air toxics assessments, draft report for scientific peer review. Office of air quality planning and standards, EPA. Available at air toxics website.
6. Jenabihaghparsat, R., Golchin, A., and Kohneh, E. 2013. The effects of different levels of cadmium on growth of the earthworm *Eisenia fetida* in a calcareous soil. Mashhad, J. Water Soil. 27: 1. 24-35. (In Persian)
7. Katz, S.A., and Jennis, S.W. 1983. Regulatory compliance monitoring by atomic absorption spectroscopy. VCH, Weinheim, New York.
8. Lanno, R., Wells, J., Conder, J., Bradham, K., and Basta, N. 2004. The bioavailability of chemicals in soil for earthworms. Ecotoxicology and Environmental Safety. 57: 39-47.
9. Leduc, F., Whalen, J.K., and Sunahara, G.I. 2008. Growth and reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* after exposure to leachate from wood preservatives. Ecotoxicology and Environmental Safety. 69: 219-226.
10. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
11. Lock, K., and Janssen, C.R. 2002. Ecotoxicity of chromium (III) to *Eisenia fetida*, *Enchytraeus albidus* and *Folsomia candida*. Ecotoxicology and Environmental Safety. 51: 203-205.
12. Modabberi, S., and Moore, F. 2004. Environmental geochemistry of Zarshuran Au-As deposit, NW Iran. Environmental Geology. 46: 796-807.
13. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Government Print Office, Washington DC. USDA Circular. 939: 1-19.
14. Pastircakova, K. 2004. Determination of trace metal concentrations in ashes from various biomass materials. Energy Education Science and Technology. 13: 97-104.

15. Pena-Icart, M., Villanueva Tagle, M.E., Hernandez, C.A., Rodríguez, J., Behar, M., and Pomares Alfonso, M. 2011. Comparative study of digestion methods EPA 3050B ($\text{HNO}_3\text{eH}_2\text{O}_2\text{eHCl}$) and ISO11466.3 (aquaregia) for Cu, Ni and Pb contamination assessment in marine sediments. *Marine Environmental Research*. 72: 60-66.
16. Reinecke, A.J., Maboeta, M.S., Vermeulen, L.A., and Reinecke, S.A. 2002. Assessment of lead nitrate and mancozeb toxicity in earthworms using the avoidance response. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 68: 779-786.
17. Salt, D.E., Smith, R.D., and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 643-668.
18. Shanker, A.K., Djan aguiraman, M., Sud hagar, R., Chandrashekar, C.N., and Path manabhan, G. 2004. Differential tioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram (*Vigna radiata* L.) roots. *Plant Science*. 166: 1035-1043.
19. Sivakumar, S., and Subbhuraam, C.V. 2005. Toxicity of chromium (III) and chromium (VI) to the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 62: 93-98.
20. Venter, J.M., and Reinecke, A.J. 1988. The life-cycle of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *South Afric. J. Zool*. 23: 161-165.



The effects of exposure time, different levels of chromium and organic matter on the growth of earthworms

***Z. Jamshidi Ardakani¹, A. Golchin², A.H. Parizanganeh³
and A.A. Zamani⁴**

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Environmental Science, University of Zanjan, ²Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ³Associate Prof., Dept. of Environmental Science, University of Zanjan, ⁴Assistant Prof., Dept. of Environmental Science, University of Zanjan
Received: 09/09/2013; Accepted: 04/26/2014

Abstract

Earthworms are an important part of food chain in soil ecosystem. In polluted soils, heavy metals are consumed by earthworms and transferred to other organisms through food chain, resulting in many adverse health impacts. Due to the benefits of earthworms for soil fertility, it is important to assess the effects of soil pollution on population, biomass and functions of earthworms. To determine the effects of organic matter on earthworms' growth, in a soil with different levels of chromium, a factorial experiment with completely randomized design and three replications was performed. The levels of soil chromium were 0, 5, 10, 20, 40, 80, 160 and 320 mg kg⁻¹ and the rates of organic matter (cow manure) added were 0, 5 and 10% w/w. The earthworms were exposed to soil pollution for different time periods (0, 15, 30, 45 and 60 days) and after that the number of living earthworms, their weights, the number of produced cocoons and the chromium concentrations of earthworm tissues were determined. The results of analysis of variance of data showed that the number of living earthworms, their weights and the number of produced cocoons decreased as the exposure time and the level of soil pollution by chromium increased. The chromium concentrations of earthworm tissues increased as the exposure time and the levels of soil chromium increased. The number of living earthworms, their weights and the number of produced cocoons increased as the level of soil organic matter increased.

Keywords: Soil contamination, Heavy metals, Bioindicator, Environmental pollution

* Corresponding Authors; Email: za_jamshidi@ymail.com

